

## Resistência à tração de raízes do Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) em talude da margem do Rio São Francisco. <sup>(1)</sup>

**Vanessa Sousa da Silva**<sup>(2)</sup>; **Francisco Sandro Rodrigues Holanda**<sup>(3)</sup> **Gabriel Vieira Leite**<sup>(4)</sup>;  
**Antônio Iury Alves Maranduba**<sup>(4)</sup>; **Eliseu Marcolino**<sup>(5)</sup>.

- <sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos FAPITEC (Fundação De Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica de Sergipe).  
<sup>(2)</sup> Acadêmico de Engenharia Florestal, Bolsista de Iniciação Científica; Universidade Federal de Sergipe; São Cristóvão, Sergipe; (vanessa.sousas@hotmail.com).  
<sup>(3)</sup> Professor Associado – Bolsista de Produtividade em PQ-Universidade Federal de Sergipe (fholanda@infonet.com.br).  
<sup>(4)</sup> Acadêmico de Engenharia Agrônoma; Universidade Federal de Sergipe (gvlagronomo@gmail.com; iubam@hotmail.com).  
<sup>(5)</sup> Mestrando em Agroecossistemas; Universidade Federal de Sergipe (eliseum@hotmail.com).

**RESUMO:** A implantação de projetos hidrelétricos no baixo curso do rio São Francisco resultou na modificação do seu comportamento hidrossedimentológico refletido principalmente na erosão das margens do rio. Visando mitigar os efeitos da erosão tem-se adotado técnicas como a bioengenharia de solos, que englobam conhecimento técnico sobre materiais inertes e da vegetação, e suas características singulares que promovam a redução da erosão. Esse trabalho teve como objetivo quantificar a resistência à tração de raízes do Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) como reforço mecânico promovido pelo seu sistema radicular, na estabilização de taludes fluviais. Para cada planta de capim-vetiver coletada foram testadas as resistências à tração de 50 raízes utilizando-se um equipamento de teste de tração e compressão universal. Na avaliação da resistência à tração, raízes com diâmetros menores romperam-se sob tensões mais elevadas, enquanto as raízes mais grossas romperam-se em baixa tensões de tração. Em geral, a resistência à tração das raízes testadas variaram de cerca de 2 MPa a 350 MPa, para as raízes com diâmetros variando de 0,4 mm a 2,9 milímetros. A resistência à tração tende a aumentar conforme a redução do diâmetro da raiz.

**Termos de indexação:** erosão, bioengenharia de solos, sistema radicular.

### INTRODUÇÃO

O baixo curso do rio São Francisco teve seu comportamento hidrossedimentológico alterado pelas modificações no canal fluvial através do represamento das águas para implantação de reservatórios de grandes projetos hidrelétricos. Isto resultou na regularização da vazão, controle das cheias, retenção de sedimentos nas barragens, degradação da vegetação ciliar, erosão marginal, recuo da margem e perda de área agricultável (Holanda et al., 2008).

Os processos erosivos demandam ações de controle que contemplem a estabilização dos

taludes marginais utilizando soluções simples, porém com possibilidade de ampla adaptação na bacia hidrográfica, de fácil implementação, correta do ponto de vista ecológico e estético, e utilizando-se de conhecimentos biológicos para estabilização de encostas de terrenos e margens de cursos de água (Gray & Sotir, 1996). A técnica de bioengenharia de solos ou engenharia natural consiste no uso de materiais vegetais vivos ou inertes, em combinação com materiais de suporte natural ou sintético (Lewis, 2000).

O componente estrutural para estabilização do solo é a vegetação. Para essa finalidade, deve-se conhecer as características técnicas da vegetação para o melhor aproveitamento e desenvolvimento no local da estabilização do solo e no controle do processo erosivo (Sutili, 2007). O efeito de reforço promovido por raízes relacionado com a estabilidade de taludes é de grande importância e pode ser avaliado em termos de resistência ao cisalhamento (Wu et al. 1979). É possível utilizar como modelo para estimar o incremento na força de cisalhamento do solo proporcionado por raízes, dados relacionados à força da raiz à tração, e a distribuição de raízes (De Baets et al. 2008).

Uma das características mecânicas importantes das raízes é a sua resistência à tração, ao contrário dos solos, que apresentam resistência à compressão. O efeito combinado de solo e raízes resulta em reforço do solo (De Baets et al., 2008).

Várias espécies vêm sendo estudadas no que diz respeito à contribuição do sistema radicular como reforço físico-mecânico do solo, a exemplo do capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) que é uma planta herbácea, pertencente ao grupo das gramíneas (Poaceae), que atingem uma altura que varia entre 1,5 a 2,0 m de altura. Essa gramínea é nativa de países de clima tropical e subtropicais (Índia, China, Filipinas, Indonésia). (Souza & Lorenzi, 2005). Presente nos mais variados climas, sobretudo tropical e subtropical, o capim vetiver vem sendo muito utilizado na recuperação de áreas degradadas, com destaque no controle de erosão, uma vez que o seu sistema radicular é capaz de

alcançar profundidades superiores a 3 m, ou seja, grandes profundidades possibilitando à planta boa resistência à seca e forte poder de resistência às enxurradas (Cazzuffi et al., 2006; Truong, 1999; Truong & Loch, 2004).

Esse trabalho teve como objetivo quantificar a resistência à tração de raízes do Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) como reforço mecânico promovido pelo seu sistema radicular, na estabilização de taludes fluviais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O capim-vetiver foi plantado em talude localizado na margem direita do Rio São Francisco, no município de Amparo de São Francisco (coordenadas UTM N= 8.868.789,506, E= 736.583,864) formado por solo classificado como Neossolo Flúvico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). O clima do trecho sedimentar do baixo São Francisco, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am (clima megatérmico úmido e subúmido) com temperatura média anual de 25° C. A precipitação média anual é de 744,0 mm ano<sup>-1</sup>.

Testes de resistência de raízes à ruptura constituem um passo crucial para avaliar o reforço do solo promovido pelas raízes. Nesse sentido foram coletadas 25 plantas para seleção de 50 raízes não danificadas, apresentando um diâmetro constante,  $D < 8$  mm (diâmetro máximo da raiz que pode ser testado em laboratório), e comprimento mínimo de raiz de 0,10 m, coletadas a partir do método de escavação seca (Böhm, 1979). Após a escavação, as raízes foram armazenadas em sacos plásticos a fim de preservar o seu teor de umidade. Após o período de trabalho de campo, as raízes foram colocadas imersas em álcool (etanol 15%) a uma temperatura de 4 ° C com o objetivo de conservá-las (De Baets et al., 2008). Os testes de resistência de raízes à ruptura ( $T_r$ ) foram conduzidos no Laboratório de Ecofisiologia da Universidade Federal de Sergipe, utilizando o equipamento de teste de tração e compressão Universal (Marca Arotec, modelo WDW E20). Este equipamento combina as funções de geração de força de tração; medição de carga e de deslocamento; e aquisição de dados. Nos testes, as raízes foram fixadas com garras rosqueáveis. No sentido de contornar problemas na condução dos ensaios foram realizados ajustes nas garras do equipamento para melhor clipagem evitando a ruptura das raízes na posição de aperto. Testes onde as raízes romperam na posição de clipagem foram considerados inválidos.

A amostra foi então submetida à tração a uma velocidade constante de 10 mm/min. A célula de carga apresentou capacidade de medir forças de até 500 KN, sendo a força inicial de 1 KN. A força de resistência à tração foi medida e registrada em um computador ligado à máquina de teste. Foi utilizada a Formula (1) para o calculo da Tensão de Ruptura de raízes ( $T_r$ ) (De Baets et al., 2008):

$$T_r = \frac{F_{max}}{\pi \frac{D^2}{4}} \quad (1)$$

Em que  $F_{max}$  é a força máxima (N) necessária para romper a raiz e  $D$  é o diâmetro médio da raiz (mm) próximo do ponto de ruptura antes da aplicação da tração. Para isso antes do ensaio, o diâmetro da raiz foi medido em três pontos equidistantes, utilizando um paquímetro digital.

Para avaliação da resistência Tração, os dados foram submetidos á uma Análise de Regressão utilizando o Programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resistência à tração das raízes testadas variaram de cerca de 2 MPa a 350 MPa, para as raízes com diâmetros variando de 0,4 mm a 2,9 milímetros. (**Figura 1**). A Análise de Regressão mostrou que existe uma forte correlação ( $R^2=0,7376$ ) entre resistência à tração e diâmetro das raízes. Raízes de vetiver apresentaram predominância de diâmetros na faixa de 0,9 a 1,4mm.

Conforme relatado em vários estudos (Norris 2005; Mattia et al. 2005; Bischetti et al. 2005; Tosi 2007; De Baets et al., 2008; Mickovski & van Beek, 2009) a resistência à tração da raiz ( $T_r$ ) diminui com o aumento do diâmetro da raiz ( $D$ ). A diminuição da resistência à tração com o aumento do diâmetro da raiz foi também explicado por Genet et al. (2005), pelas diferenças na estrutura da raiz. Estes autores atribuem essa relação ao maior teor de celulose em raízes finas.

A variabilidade na resistência à tração das raízes pode ser resultado das variações na idade de raiz (Genet et al. 2005), ou das diferentes taxas de crescimento, determinadas por variações na umidade do solo, textura do solo e estado nutricional (Pollen & Simon, 2005).

Nos testes realizados neste estudo raízes com diâmetros menores romperam-se sob tensões mais elevadas, enquanto as raízes mais grossas romperam-se em baixa tensões de tração.



A partir da observação de que a resistência à tração de raízes de vetiver depende do seu diâmetro, é possível prever que o comportamento das raízes mais finas que têm alta resistência à tração não se romperão, deslizando, enquanto as raízes mais grossas com menor resistência à tração irão sofrer uma ruptura abrupta durante o cisalhamento do solo, proporcionando uma menor resistência ao cisalhamento do solo. Este comportamento foi relatado em ensaios de cisalhamento direto realizados por Mickovski & van Beek (2009).

Cazzuffi et al. (2006), notaram que existe certa influência da resistência à tração das raízes no incremento da resistência ao cisalhamento. Concordando com os autores citados foi identificado no capim Vetiver uma alta resistência à tração, sendo este capaz de oferecer um alto incremento na resistência ao cisalhamento do solo.

## CONCLUSÕES

A resistência à tração é inversamente proporcional ao diâmetro da raiz.

O conhecimento das características morfológicas da raiz e de suas propriedades na resistência do solo aos movimentos de massa pode ser utilizado para avaliar a estabilidade de taludes sem intervenções físicas *in situ*.

## REFERÊNCIAS

BISCHETTI G. B.; CHIARADIA E. A.; SIMONATO T.; SPEZIALI B.; VITALI B.; VULLO P.; ZOCCO A. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). *Plant and Soil*, 278:11–22, 2005.

BÖHM W. Methods of studying root systems. *Ecological Studies*, 33:188, 1979.

CAZZUFFI, D.; CORNEO, A.; CRIPPA, E. Slope stabilisation by perennial "gramineae" in Southern Italy: plant growth and temporal performance. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24:429 - 447, 2006.

DE BAETS S.; POESEN J.; REUBENS B.; WEMANS K.; DE BAERDEMAEKER J.; MUYS B. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. *Plant and Soil*, 305:207–226, 2008.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1999, 412p.

FERREIRA, DANIEL FURTADO. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFPA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GENET M.; STOKES A.; SALIN F.; MICKOVSKI S.B.; FOURCAUD T.; DUMAIL J.; VAN BEEK R. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. *Plant and Soil*, 278:19, 2005.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*. New York: John Wiley and Sons, 1996. 377p.

HOLANDA, F. S. R.; ROCHA, I. P.; OLIVEIRA, V. S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(6):570-575, 2008.

LEWIS, L. *Soil bioengineering - an alternative to roadside management - a practical guide*. Technical Report 0077-1801-SDTDC. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center, 2000. 44p.

MATTIA C.; BISCHETTI G. B.; GENTILE F. Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species. *Plant and Soil*, 278:23–32, 2005.

MICKOVSKI, S. B.; VAN BEEK, L.P.H. Root morphology and effects on soil reinforcement and slope stability of young vetiver (*Vetiveria zizanioides*) plants grown in semi-arid climate. *Plant and Soil*, 324:43-56, 2009.

NORRIS J. E. Root reinforcement by hawthorn and oak roots on a highway cut-slope in Southern England. *Plant and Soil*, 278:43–53, 2005.

POLLEN N.; SIMON A. Estimating the mechanical effects of riparian vegetation on stream bank stability using a fiber bundle model. *Water Resources Research*, 41:1–11, 2005.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. *Botânica sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 640p.

SUTILI, F. J. *Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do sul do Brasil*. Tese (Doutorado em Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem) – Universidade Rural de Viena, Viena. p. 95, 2007.

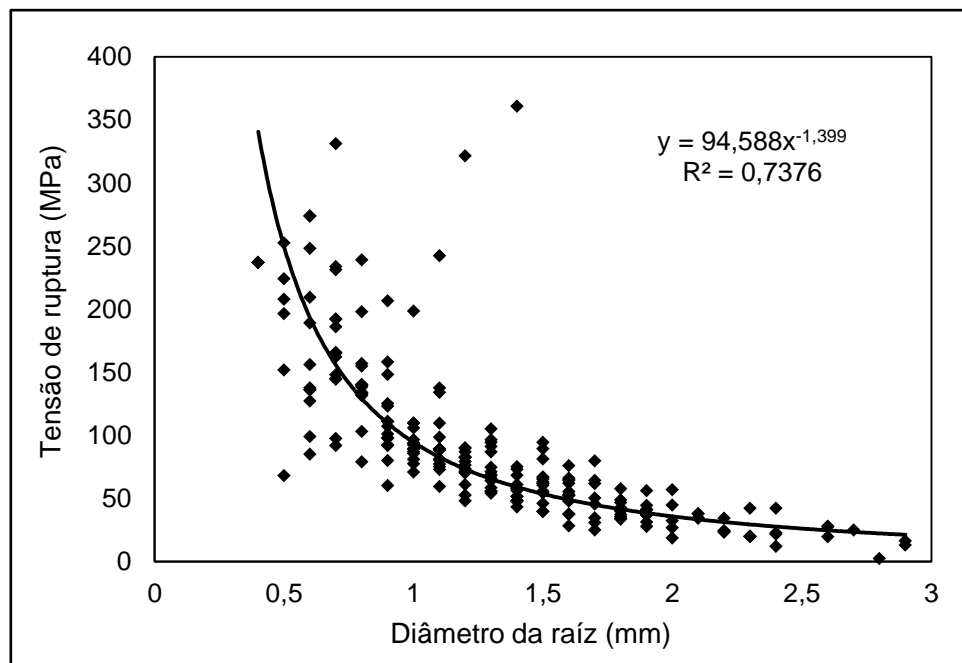
TOSI M. Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in Northern Apennines (Italy). *Geomorphology*, 87:268–283, 2007.

TRUONG, P. N. Vetiver grass technology for land stabilisation, erosion and sediment control in the Asia Pacific region. In: *Proc. First Asia Pacific Conference on*

Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilisation. Manila, Philippines, p. 72 – 84, 1999.

TRUONG, P.N.V.; LOCH, R. Vetiver system for erosion and sediment control. In: ISCO - International Soil Conservation Organisation Conference, Brisbane, 2004.

WU, T. H.; MCKINNELL III W. P.; SWANSTON D. N.; Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. Can, Geotech, 16:19–33, 1979.



**Figura 1** - Resistência à tração de raízes do capim-vetiver.